

УДК 533.6

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ СОСНОВОГО СЛОЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ СТАЛЬНОЙ НАГРЕТОЙ ЧАСТИЦЕЙ**

Барановский Н.В., Захаревич А.В., Осотова Д.С.

Томский политехнический университет

E-mail: [firedanger@narod.ru](mailto:firedanger@narod.ru)

Известно, что одиночные нагретые до высоких температур частицы металлов могут быть источниками зажигания различных конденсированных веществ [1,2] и жидких топлив [3,4]. Теоретические следствия, представленные в [1-4] хорошо подтверждаются результатами экспериментальных исследований зажигания модельных смесевых композиций [5] и жидких топлив [6,7] одиночными нагретыми до высоких температур частицами. Теоретически обоснована и возможность зажигания лесных горючих материалов (ЛГМ) локальными источниками нагрева [8-9]. Но до настоящего времени отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие эти выводы.

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение основных закономерностей и условий зажигания типичных, широко распространенных ЛГМ одиночными нагретыми до высоких температур частицами стали.

Эксперименты проводились на установке и по методике [5,6] с нагретыми частицами металлов в форме цилиндров двух различных размеров: а) диаметр  $d=6$  мм; высота  $h=13$  мм; масса  $m=2,5$  г; б)  $d=8$  мм;  $h=17$  мм;  $m=6,2$  г. Установлено, что при воздействии на слой ЛГМ частиц высотой менее 13 мм зажигания не происходило.

Объект исследования – слой ЛГМ из опада сосновой хвои. Материал для исследований был собран в Тимирязевском лесничестве Тимирязевского лесхоза Томской области осенью 2011 года. Образцы ЛГМ формировались в огнеупорной кювете посредством хаотической укладки хвоинок равномерным по толщине слоем (плотность укладки соответствовала плотности опада хвои в Тимирязевском лесничестве; объемная доля сухого органического вещества в слое составляла около 0.06 [10]). Эксперименты проведены с хвоей побуревшей, частично разложившейся, предварительно высушенной. Размеры отдельных хвоинок составляли 7 – 8 см в продольном и 0.7-1.2 мм в поперечном направлении. Сушка ЛГМ проводилась в сушильном шкафу в течение нескольких часов. Удаление влаги из хвои продолжалось до состояния ее полного высыхания, соответствующего условиям катастрофической пожарной опасности.

По результатам статистической обработки экспериментальных данных определялись доверительные интервалы с доверительной вероятностью  $P=0.95$ .



*Рис. 2. Характерные кадры видеосъемки процесса зажигания ЛГМ нагретой до высоких температур частицей в различные моменты времени:  $t=0,20$  с – появление пламени (зажигание ЛГМ).*

На рис. 2 представлен характерный кадр видеосъемки процесса зажигания слоя ЛГМ нагретой до высоких температур частицей. Установлены следующие закономерности процесса. После короткого периода инертного прогрева слоя ЛГМ начинается термическое разложение материала с выделением газообразных продуктов пиролиза. Лесной

горючий материал в приповерхностном слое разлагается практически полностью с небольшим коксовым остатком, который выпадает на подложку. В пористой среде ЛГМ происходит фильтрация газообразных продуктов пиролиза к нагреваемой поверхности слоя и их смешивание с окислителем, нагрев газовой смеси с последующим зажиганием. Затем пламя появляется по всему периметру частицы. На рисунке 3 представлены зависимости времени задержки зажигания от начальной температуры частицы. Для каждой частицы определен нижний предел зажигания по температуре. Доверительные интервалы приведены в таблице 1.

Достаточно высокие значения среднеквадратичных отклонений результатов измерений  $t_{ign}$  от средних значений обусловлены, очевидно, случайным характером распределения отдельных одиночных хвоинок в приповерхностном слое ЛГМ, который непосредственно нагревается “горячей” частицей. Расстояние между отдельными хвоинками на границе контакта “ЛГМ-частица” в проведенных экспериментах не фиксировалось (как и в реальном ЛГМ) постоянным. Поэтому в отдельно взятом опыте каждая частица могла одновременно нагревать от 3 до 7 хвоинок.

Таблица 1 Доверительные интервалы времен задержки зажигания ЛГМ частицами

Начальная температура частицы Т, К	Доверительный интервал, с (частица d=8 мм; h=17 мм)	Доверительный интервал, с (частица d=6 мм; h=13 мм)
1153	$\pm 0,061$	
1173		$\pm 0,171$
1193	$\pm 0,093$	$\pm 0,115$
1233	$\pm 0,09$	$\pm 0,041$
1273	$\pm 0,137$	$\pm 0,065$
1293	$\pm 0,022$	$\pm 0,057$

Соответственно, по этим причинам отличались в единичном эксперименте и условия теплообмена между источником нагрева и ЛГМ. Так, например, при высокой пористости приповерхностного слоя ЛГМ (малом числе хвоинок, нагреваемых частицей) материал прогревался существенно медленнее по сравнению с вариантом низкой пористости хвои (большое число отдельных хвоинок, на которых лежит “горячая” частица). Соответствующим образом при изменении условий нагрева ЛГМ менялись от опыта к опыту и времена задержки зажигания, вследствие того, что значительная часть энергии частицы расходовалась на нагрев воздуха, заполняющего пористую структуру ЛГМ. Анализ зависимостей изображенных на рис. 3 показывает, что при достижении начальной температуры частицы 1300 К время  $t_{ign}$  не зависит от размеров источника возгорания. Зависимость времени задержки зажигания от температуры можно аппроксимировать прямой. Следует отметить, что при зажигании ЛГМ происходит комплекс взаимосвязанных диффузионных и конвективных процессов как в пористой структуре материала, так и над ним. Это приводит к тому, что вид зависимости времен задержки зажигания ЛГМ существенно отличается от кривых, характерных, например, для топливных композиций [1,2]. Так, в частности, высокая пористость хвои приводит к тому, что значительная часть тепловой энергии, аккумулированной в частице металла, излучается во внутривещное пространство, заполненное воздухом. При этом прогрев слоев ЛГМ, расположенных на некотором расстоянии от поверхности раздела сред не стимулирует быструю газификацию приповерхностного слоя хвои.

Проводя анализ механизма зажигания сосновой хвои нагретой до высоких температур частицей необходимо отметить, что если характерный размер пористой структуры ЛГМ был больше максимального характерного размера нагретой частицы, последняя проходила через весь слой хвои (или через его большую часть) без зажигания ЛГМ. Соответ-

ственно, можно сделать вывод о предельных размерах “горячих” частиц стали, при которых выполняются условия зажигания типичного ЛГМ – сосновой хвои.

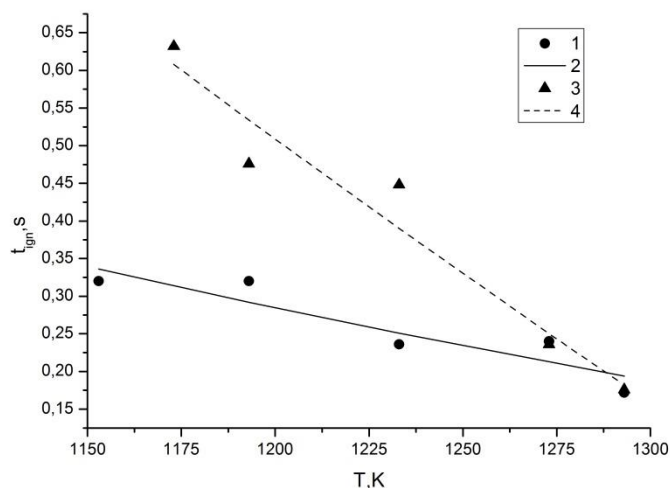


Рис. 3. Зависимости времени задержки зажигания ЛГМ от начальной температуры частицы: 1, 2 – усредненные значения и аппроксимирующая прямая (частица  $d=8$  мм;  $h=17$  мм;  $m=6,2$  г); 3, 4 – усредненные значения и аппроксимирующая прямая (частица  $d=6$  мм;  $h=13$  мм;  $m=2,5$  г)

Проведенные экспериментальные исследования зажигания ЛГМ нагретыми до высоких температур частицами стали в диапазоне температур, типичном для природных пожаров и реальных пожароопасных источников, подтвердили обоснованную ранее теоретически возможность зажигания лесных горючих материалов одиночными “горячими” частицами. Установлены зависимости времен задержки зажигания от начальной температуры частиц. Выделены предельные начальные температуры частиц и их размеры, при которых возможна реализация такого механизма возгорания типичного ЛГМ – опада сосновой хвои.

*Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).*

#### Список литературы:

1. Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. Зажигание конденсированного вещества «горячей» частицей // Химическая физика. 2004. Т. 23. № 3. С. 67 – 72.
2. G.V. Kuznetsov, G.Ya. Mamontov, G.V. Taratushkina, Combustion, Explosion and Shock Waves, 40, 70 (2004)
3. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Journal of Engineering Thermophysics, 17, 244 (2008)

4. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Нагретые до высоких температур частицы металла как источники локальных возгораний жидких веществ // Пожарная безопасность. 2008. № 4. С. 72 – 76.
5. A.V. Zaharevich, V.T. Kuznetsov, G.V. Kuznetsov, V.I. Maksimov, Combustion, Explosion and Shock Waves, 44, 543 (2008)
6. Кузнецов Г.В., Захаревич А.В., Максимов В.И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 4. С. 28 – 30.
7. Захаревич А.В., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Механизм зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 5. С. 39 – 42.
8. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей в плоской постановке // Химическая физика и мезоскопия. 2011. Т.13, № 2. С. 173 – 181.
9. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров. Дисс. канд. физ.-мат. Наук. Томск: ТГУ, 2007. 153 С
10. A.M. Grishin, V.T. Kuznetsov, A. Skorik, Combustion, Explosion and Shock Waves, 38, 24 (2002)

УДК 533.6

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЧВЫ ПРИ ВЛИЯНИИ ЛЕСНОГО ПОЖАРА В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Барановский Н.В., Ни А.Э.  
Томский политехнический университет  
E-mail: [firedanger@narod.ru](mailto:firedanger@narod.ru)

Для исследования пирогенного влияния на почву [2,3] при лесных пожарах разработана математическая модель [1]. Одно из существенных допущений в данной работе является использования одномерной модели. В действительности же рассматриваемый процесс теплопереноса носит пространственный характер.

Помимо теоретических исследований теплового воздействия лесных пожаров на почву существует множество экспериментальных работ [4,5]. Но следует отметить, что такой вид исследования требует значительных ресурсов и времени, а в случае натурного моделирования пожара, путем искусственного выжигания лесного горючего материала (ЛГМ) [6,7], требование к технике безопасности возрастает многократно.

Методам математического моделирования уделяется недостаточно внимания при решении таких задач, как теплоперенос в слоях почвы